

# 框架-剪力墙的应用与设计

郭培成

(厦门大学, 福建厦门 361000)

【摘要】 文章对各种高层结构体系的实用性和经济性效果比较后, 26 层住宅楼设计采用框架-剪力墙结构形式。在风和地震作用下, 对其各项指标进行分析比较, 说明采用框架-剪力墙结构形式能更好地体现结构的整体性、延性、耗能, 供其它类似工程设计参考。

【关键词】 框架-剪力墙结构; 周期比; 倾覆力矩分配; 剪力分配; 墙肢内力

【中图分类号】 TU398<sup>+</sup>.2

【文献标志码】 A

目前高层建筑的结构形式主要包括框架结构、框架-剪力墙结构、剪力墙结构、框架-核心筒、筒中筒、框筒、束筒、桁架筒结构等。近年来随着超高层数量越来越多, 高度不断在上升, 因此也出现了一些新的高层结构体系。如深圳平安金融中心, 主体结构高度 597 m, 巨型框架-核心筒-伸臂桁架结构形式; 上海中心大厦, 主体结构高度 574.6 m, 巨型空间框架-核心筒-伸臂桁架结构形式。目前对于 80~110 m 的高层住宅或公共建筑, 大多数采用框架-剪力墙结构或剪力墙结构。

框架结构的主要优点空间分隔灵活、自重轻、有利于抗震、节省材料, 采用现浇混凝土框架时结构的整体性较好、延性可以充分发挥; 其缺点是由于框架结构抗侧刚度较小, 整体抗侧移能力较低(水平位移变形较大, 不易满足正常极限状态的要求), 不宜应用于高度较高的建筑。剪力墙结构主要优点整体性好、侧向刚度大、在水平力作用下侧移小, 由于没有梁、柱等外露与凸出, 建筑物内部比较平整、美观; 其缺点不能提供大空间、布置不灵活, 整体结构延性较框架结构差。框架-剪力墙结构是由框架柱和剪力墙构件组成, 共同整体承担水平风荷载和地震作用, 该结构兼有框架结构和剪力墙结构的优点, 在办公类、住宅楼、酒店等高层建筑中应用相当普遍。框架-剪力墙结构正好弥补上述两种结构体系的缺点与不足, 充分发挥了它们的优点。在结构的底部若干楼层, 剪力墙的位移较小, 剪力墙承受大部分水平力; 上部楼层则相反, 剪力墙位移越来越大, 框架拉剪力墙按剪切型曲线变形。在 20 世纪最早的框架-剪力墙建筑结构是 18 层的北京饭店和 26 层的上海宾馆。

## 1 工程概况

某居民住宅楼, 位于城市郊区, 地下室 1 层, 层高为 4.5 m, 地上 26 层, 地上 1 层结构层高为 5.5 m, 2~26 层结构层高均为 3 m, 结构总高度 80.5 m, 建筑总高度 82.6 m, 总建筑面积 12 235 m<sup>2</sup>。鉴于该高度, 参考 JGJ 3-2010《高层建筑混凝土结构技术规程》3.3.1 条, 最大适用高度 120 m。抗震设防烈度为 7 度, 设计基本地震加速度值为 0.15 g, 地震分组第二组, 基本风压 0.55 (该结构高度超过 60 m, 属于对风荷载敏感, 在计算承载力极限状态时基本风压应放大 1.1 倍, 对于

位移计算基本风压仍保持不变), 结构体系系数 1.4, 基本雪压 0.25, 建筑物抗震设防类别为丙类, 场地类别二类, 设计基准期 50 a, 结构安全等级二级, 地基基础设计等级为甲级, 剪力墙和框架抗震等级均为二级。本结构采用结构整体计算, 采用中国建筑科学研究院编制的 PKPM 系列 SATWE (V3.1.6 版)。本工程结构布置图如图 1 所示: 关于 7 轴线对称。

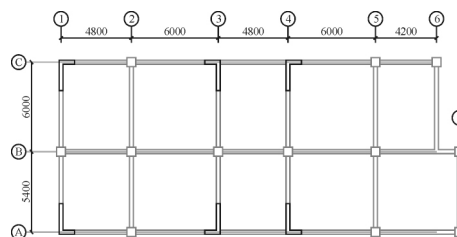


图 1 结构布置

## 2 框架-剪力墙结构的设计原理

### 2.1 协同工作原理

协同工作有两种计算模型假定, 分别是铰接体系和刚接体系。铰接体系是指墙肢之间没有连梁或者连梁刚度很小, 墙肢与框架柱之间也没有连系梁; 刚接体系是指墙肢之间有连梁或者墙肢与框架柱之间有连系梁相连, 这些连系梁对墙肢和框架柱会起作用。由于本工程存在连系梁与连梁, 并且梁的刚度较大, 框架-剪力墙结构采用刚接体系。

### 2.2 内力分配原则

框架-剪力墙结构是有两种变形性质不同的抗侧力单元组成, 通过刚性楼板协调变形连接起来共同承担所有荷载。在竖向荷载作用下, 按照各自的承载面积计算每榀框架柱与剪力墙内力; 在水平风荷载或水平地震作用下, 不能单纯依据抗侧刚度进行分配, 而是必须采用协同工作方法得到侧移和各自的水平剪力及内力。

[定稿日期] 2018-12-07

[作者简介] 郭培成 (1978~), 男, 硕士, 讲师, 从事结构工程工作。

### 3 计算指标

#### 3.1 周期比计算分析

结构自振周期(基本周期)表示结构自身的性能。在地震作用下,结构扭转反应越大或者扭转周期越大,越不利于结构整体抗震。因此规范对结构扭转为主的第一自振周期与平动为主的第一自振周期的比值进行了规定限制,一般情况下,高层建筑结构规定该比值不应大于0.9,其比值越小,扭转作用就越小。周期比与位移比都是控制结构平面扭转不规则的,往往在处理过程中,两者可以共同来修改。本工程位移比最大值在Y方向,最大值为1.31;周期比0.88,尽管周期比未超过允许值,但该值越大反应扭转效果越大。通过调整四周外侧Y方向剪力墙的刚度以及内部竖向抗侧力构件的刚度布置,最终位移比最大值降到1.23;第一振型、第二振型为平动,第三振型为扭转,周期比为0.77,满足合理的指标结果,结构整体抗扭效果明显得到改善。

#### 3.2 地震作用下倾覆力矩计算分析

JGJ 3-2010《高层建筑混凝土结构技术规程》规定,在抗震设计的框架-剪力墙结构,应根据在规定的水平力作用下,结构底层框架部分承受的地震倾覆力矩与结构总地震倾覆力矩的比值,确定相应的设计方法。当框架部分承受的地震倾覆力矩不大于结构总地震倾覆力矩的10%时,表明框架柱的刚度太小,无法实现框架与剪力墙的协同工作,按剪力墙结构进行设计;当框架部分承受的地震倾覆力矩大于结构总地震倾覆力矩的10%但不大于50%时,按框架-剪力墙结构进行设计。在工程设计过程中,大多数情况该指标建议控制在20%~30%左右,过低过高,都会影响到两者的刚度分配、剪力分配以及协同工作的效果。本工程在初步计算中,框架部分在地震作用下,底部倾覆力矩在Y方向占有比例为37%,X方向26%(基本符合一般工程的要求),处理的方向结合周期比、位移比指标控制共同完成。加大外侧Y方向剪力墙的刚度,同时控制Y方向框架柱的截面大小,该指标经过计算处理,最后结果Y方向框架柱倾覆力矩占有比例下降到25%,满足工程要求。

#### 3.3 地震作用下剪力分配

抗震设计时,框架-剪力墙结构对应于地震作用标准值的各层框架总剪力应符合下列规定:对应于地震作用标准值且未经调整的各层(或某一段内各层)框架承担的地震总剪力不小于底部总剪力的20%;若不满足要求,则各层框架总剪力应取底部总剪力的20%与1.5地震作用标准值且未经调整的各层框架承担的地震总剪力中的最大值二者中的较小值。一般情况下,如果合理的设计框架与剪力墙的刚度,框架的剪力分配大致会在15%~30%之间,满足工程的实际要求。本工程在初步计算中,X和Y方向均在35%左右,

经过调整剪力墙与框架柱的位置和刚度,最后两个方向占有的剪力比例都在25%左右,基本符合设计要求。

#### 3.4 连梁内力、墙肢内力计算分析

连梁设计是在建筑物遇到地震发生时,连梁会将地震力进行分配化解,先受力而屈服,剪力墙的墙肢再受力屈服,这样通过连梁的设计就达到了强墙弱梁、强剪弱弯的目的。按照多道设防的要求,剪力墙体是第一道防线,在基本抗震设防地震、罕遇地震下先于框架破坏。连梁的设计主要取决于剪力墙的洞口宽度和高度,控制结构中裂缝的出现,就要适当折减连梁的刚度,在不影响承受竖向承载荷载能力的前提下,允许连梁适当开裂,即对连梁刚度进行折减,折减系数不宜小于0.5。由于连梁截面受弯、剪力较大,截面设计很困难,尤其跨高比较小的情况下,很难设计成延性构件。在工程上采用双层梁,即300 mm×1 200 mm截面的连梁设计成两个300 mm×600 mm,上下层分布,中间设置50 mm或100 mm间隙。这样不仅有利于连梁不易出现受力过大,而且有效改善其延性和耗能。当双肢剪力墙设计过程中,一边墙肢出小偏心受拉时,则该墙肢可能会出现水平通缝而严重影响其抗剪能力和抗侧刚度。由于水平和竖向荷载产生的剪力将全部转移到另一个墙肢而导致另一墙肢抗剪承载力不足,剪力会在墙肢中重新进行内力分配,因此,墙肢的弯矩、剪力设计值应相应的增大而影响到其延性。

### 4 结论

(1) 剪力墙构件设置应在竖向一直保持连续,避免中断,出现刚度不连续;框架构件数量较多,为了保证结构的整体性、安全性,构件间的连接必须满足相关构造要求。

(2) 框架-剪力墙结构设计中,合理布置两种不同竖向构件数量及位置,对剪力分配、结构抗扭转、地震作用下倾覆力矩分配都会起到良好的效果。

(3) 控制连梁与剪力墙的相对刚度,较好地实现强墙肢弱连梁、强剪弱弯原则。注意双层连梁的处理以及控制好连梁的跨高比。

#### 参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国国家标准. JGJ3-2010 高层建筑混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社.
- [2] 中华人民共和国国家标准. GB 50011-2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社.
- [3] 戴亚鹏. 高层建筑结构设计中剪力墙结构的要点分析[J]. 山西建筑, 2015(4): 36-37.
- [4] 赵锦华. 高层建筑短肢剪力墙结构设计的研究[J]. 门窗, 2015(2): 63-64.